

## Aula 11 - Tecnologias de Acesso à rede em Smart City

### Módulo de Internet das Coisas

- Profª Nídia Glória da Silva Campos

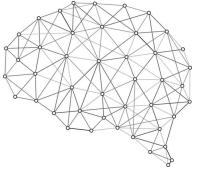


UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO CEARÁ



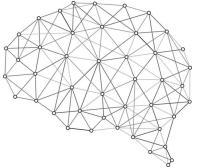
MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO



**IA**

# Objetivos da Aula

- Apresentar tecnologias da rede celular: 4G/5G
- Conhecer tecnologias de acesso LPWAN (Low Power Wide Area Network): LoRa/LoRaWAN e Wi-SUN.
- Atv 06: Comunicação na Smart City

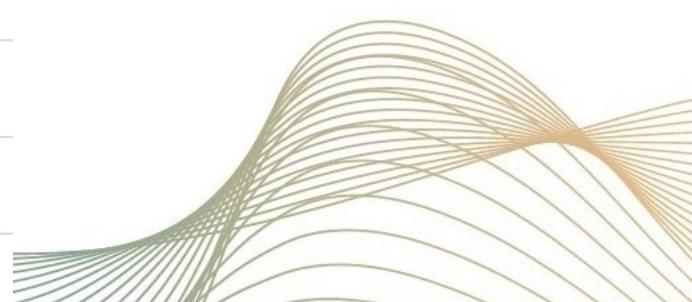
**IA**

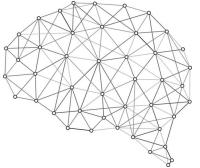
# Rede Celular: 4G/5G [1]

- a solução para Internet móvel de longa distância
- uso/implantação generalizada
  - mais dispositivos móveis que dispositivos fixos conectados à Internet
  - Disponibilidade 4G: 97% do tempo na Korea (90% no EUA)
- taxas de transmissão acima de 100 Mbps
  - no Brasil, são fornecidas dessa maneira [2]:

Posição	Operadora	Velocidade média
1°	Claro	31,93 Mb/s
2°	Vivo	20,76 Mb/s
3°	TIM	19,44 Mb/s
4°	Oi	12,67 Mb/s

5 de jul. de 2022





IA

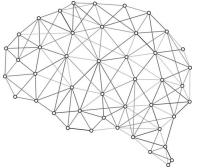
# Rede Celular: 4G/5G [1]

## *Semelhanças da Internet Cabeada*

- distinção entre borda/núcleo, mas ambos abaixo da mesma portadora
- rede celular global: uma rede de redes
- uso generalizado de protocolos: HTTP, DNS, TCP, UDP, IP, NAT, Ethernet
- Interconexão com a Internet cabeada

## *Diferenças entre a Internet Cabeada*

- camada de enlace wireless diferente
- mobilidade como um serviço de 1<sup>a</sup> classe
- "identidade" do usuário (via cartão SIM)
- modelo de negócios: usuários subscrevem-se com um provedor de Internet
  - acesso global, com infraestrutura de autenticação

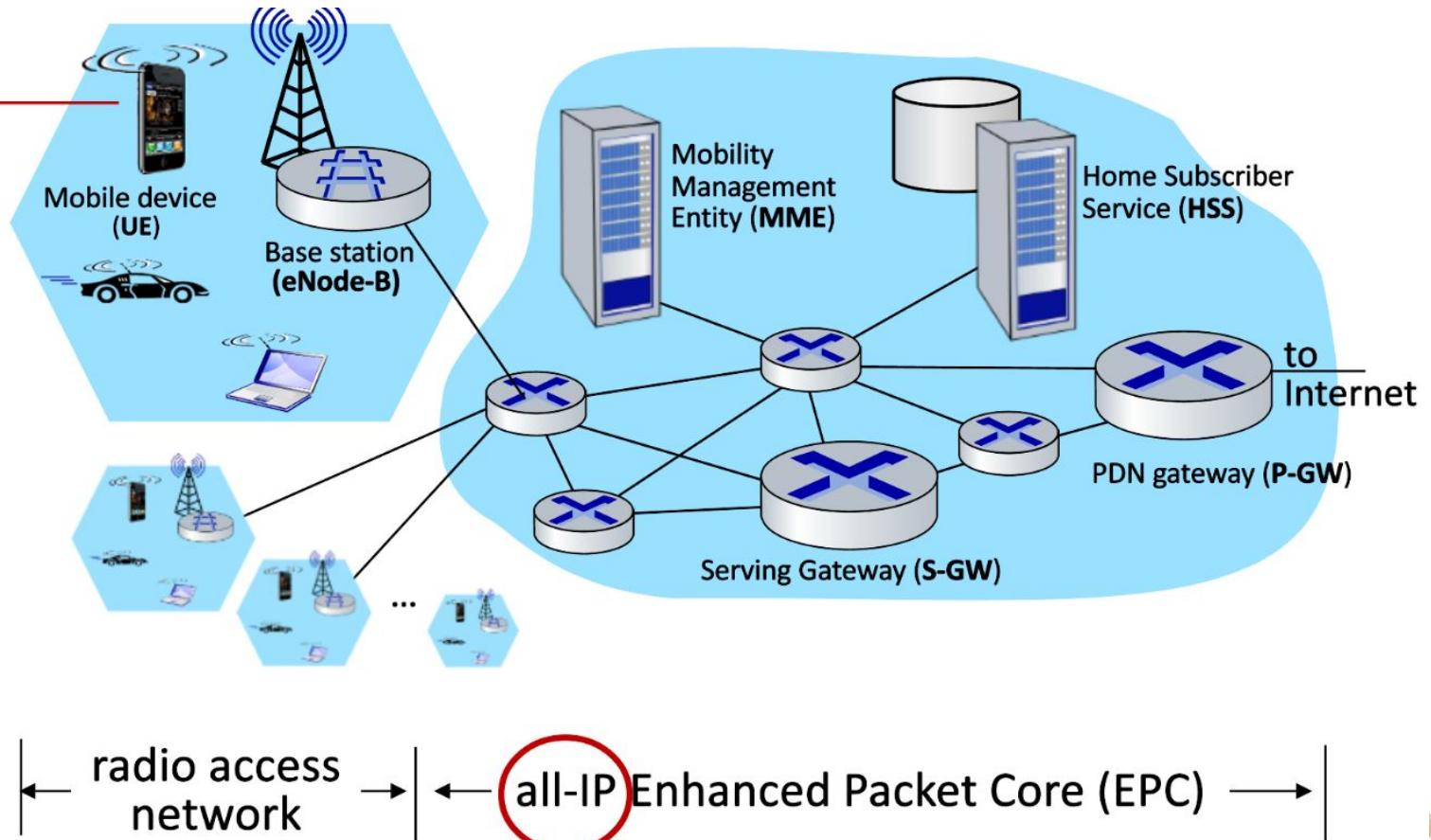


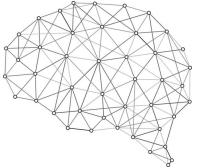
IA

# Elementos da Arquitetura 4G LTE (Long Term Evolution) [1]

## Dispositivo Móvel:

- smartphone, tablet, laptop, IoT, ... com 4G LTE radio
- 64-bit International Mobile Subscriber Identity (IMSI), armazenado no cartão SIM (Subscriber Identity Module)
- LTE jargon: User Equipment (UE)



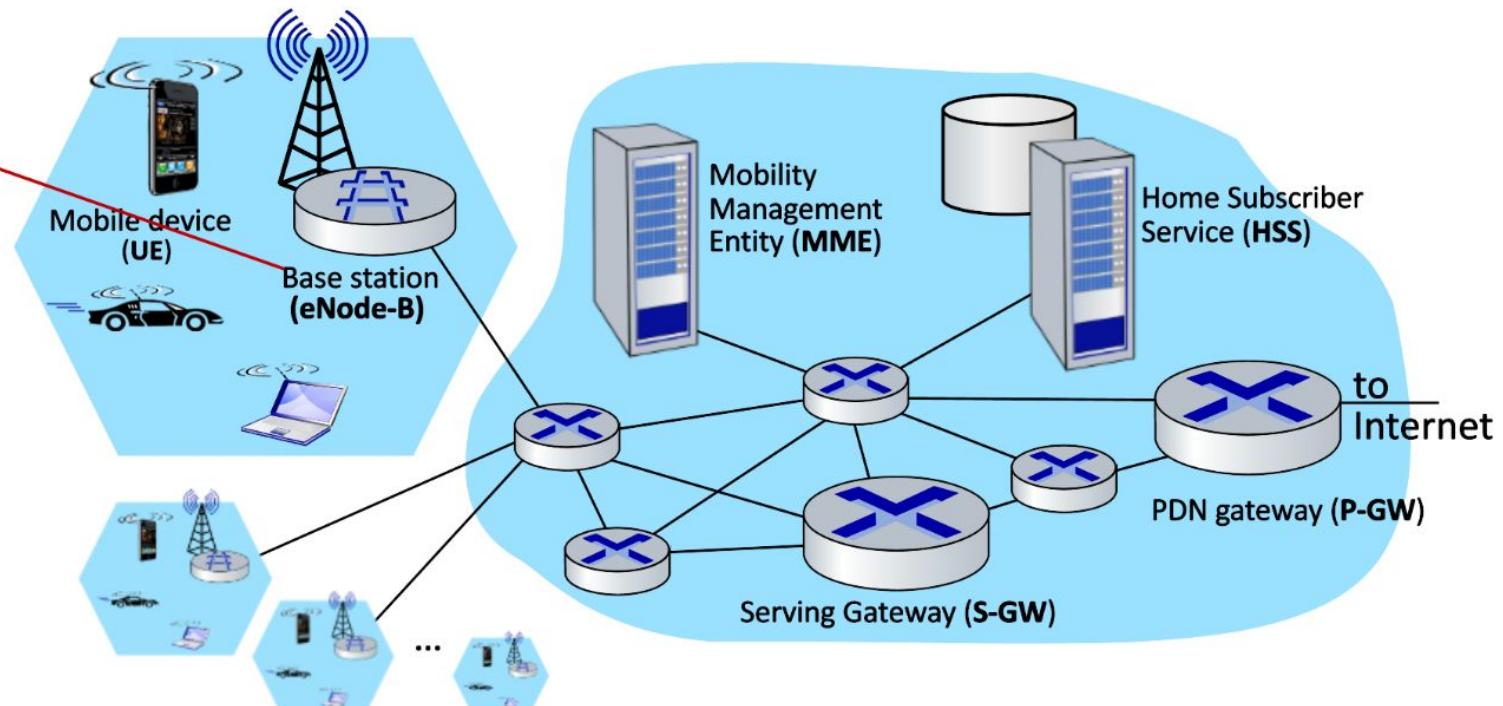


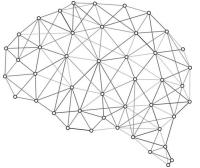
IA

# Elementos da Arquitetura 4G LTE [1]

## Estação Base:

- na “borda” da rede
- Gerencia os recursos de rádio sem fio, dispositivos móveis na sua área de cobertura (“célula”)
- Coordena a autenticação de dispositivo com outros elementos
- Semelhante a um AP Wifi mas:
  - Papel ativo na mobilidade do usuário
  - Coordena com estações base próximas para otimizar o uso do rádio
- LTE jargon: eNode-B



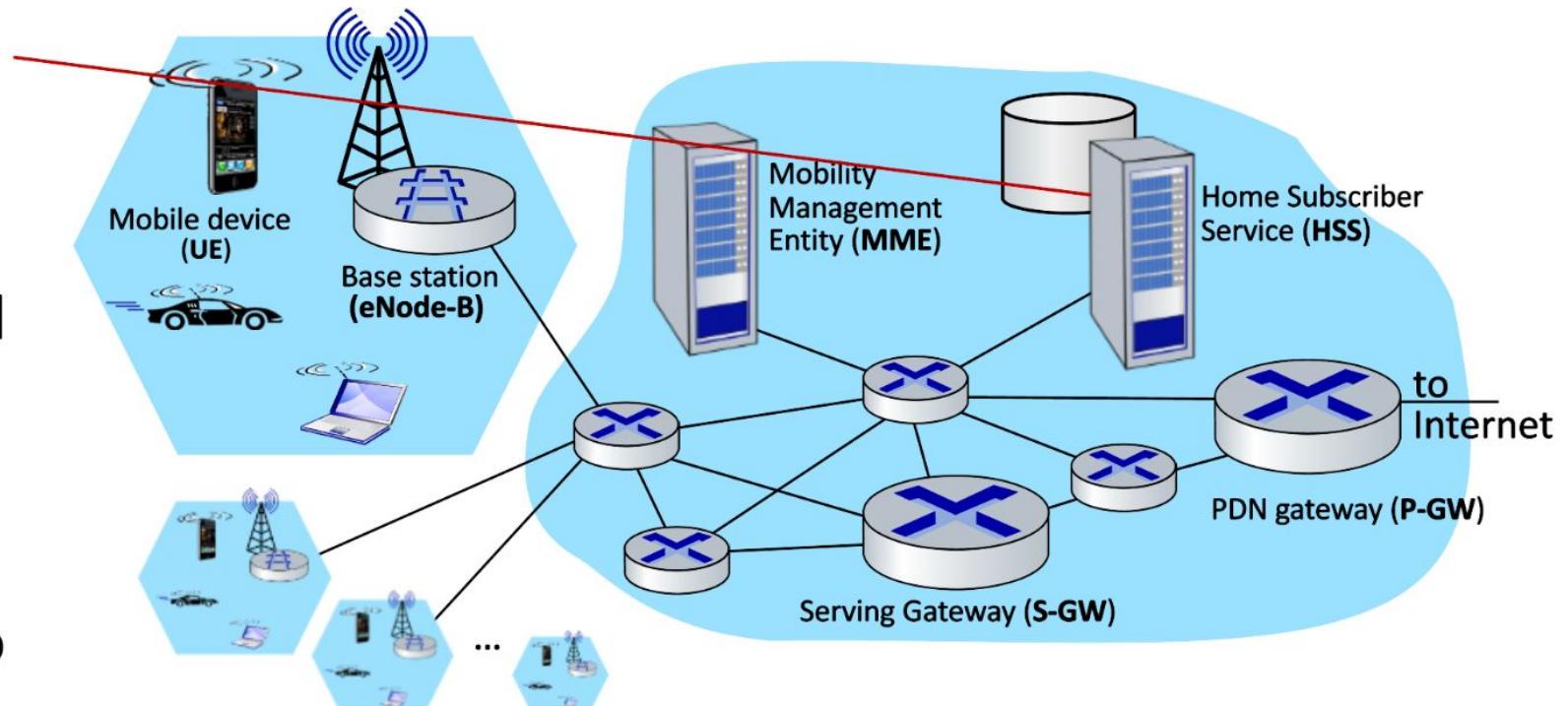


IA

# Elementos da Arquitetura 4G LTE [1]

## Serviço de Subscrição Doméstica

- Armazena info sobre dispositivos móveis na qual a rede HSS's é a "rede doméstica" deles
- Funciona com o MME no dispositivo de autenticação



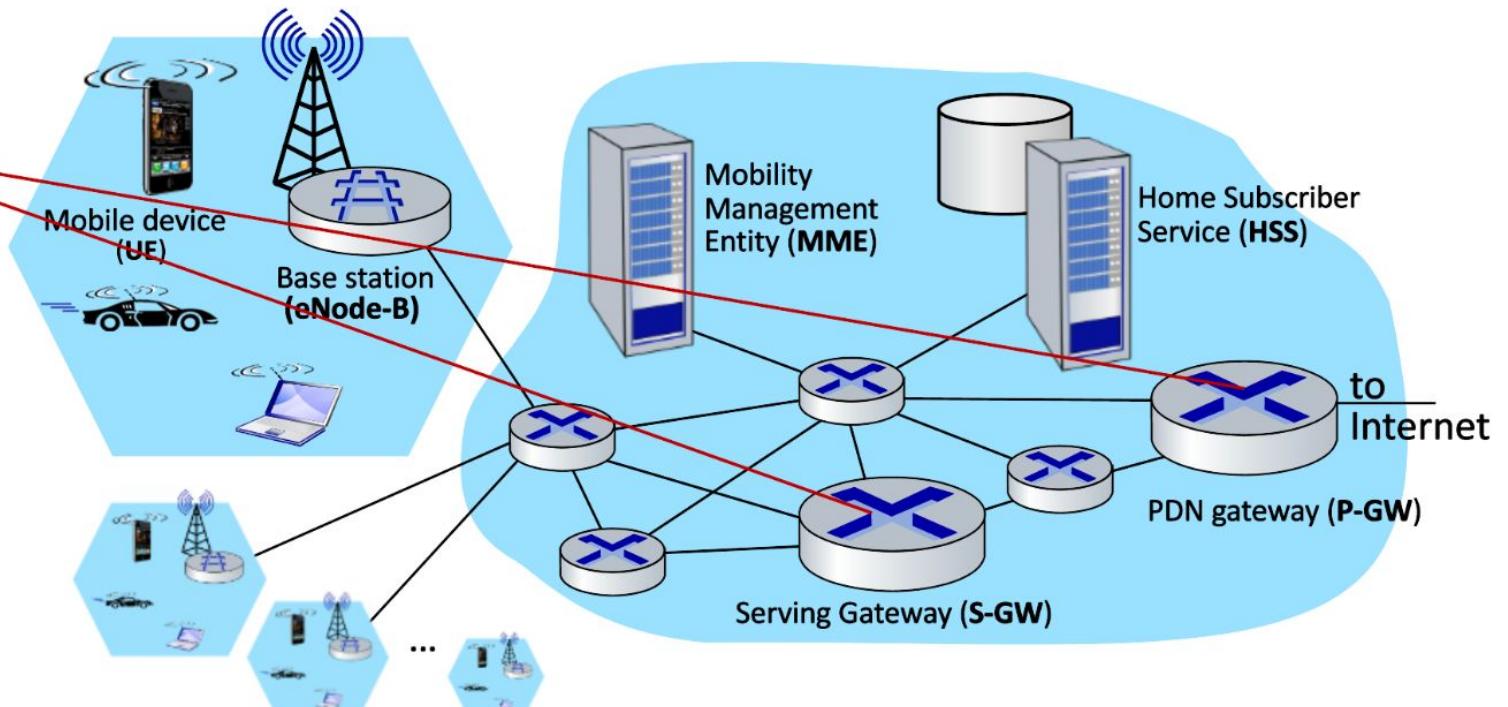


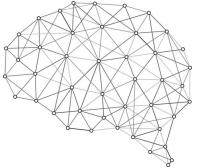
IA

# Elementos da Arquitetura 4G LTE [1]

## Serving Gateway (S-GW), PDN Gateway (P-GW)

- Coloca os dados no caminho desde a rede móvel até a Internet
- P-GW
  - gateway da rede celular móvel
  - É um gateway como qualquer outro roteador
  - Provê serviços de NAT
- Outros roteadores:
  - Uso extensivo no tunelamento



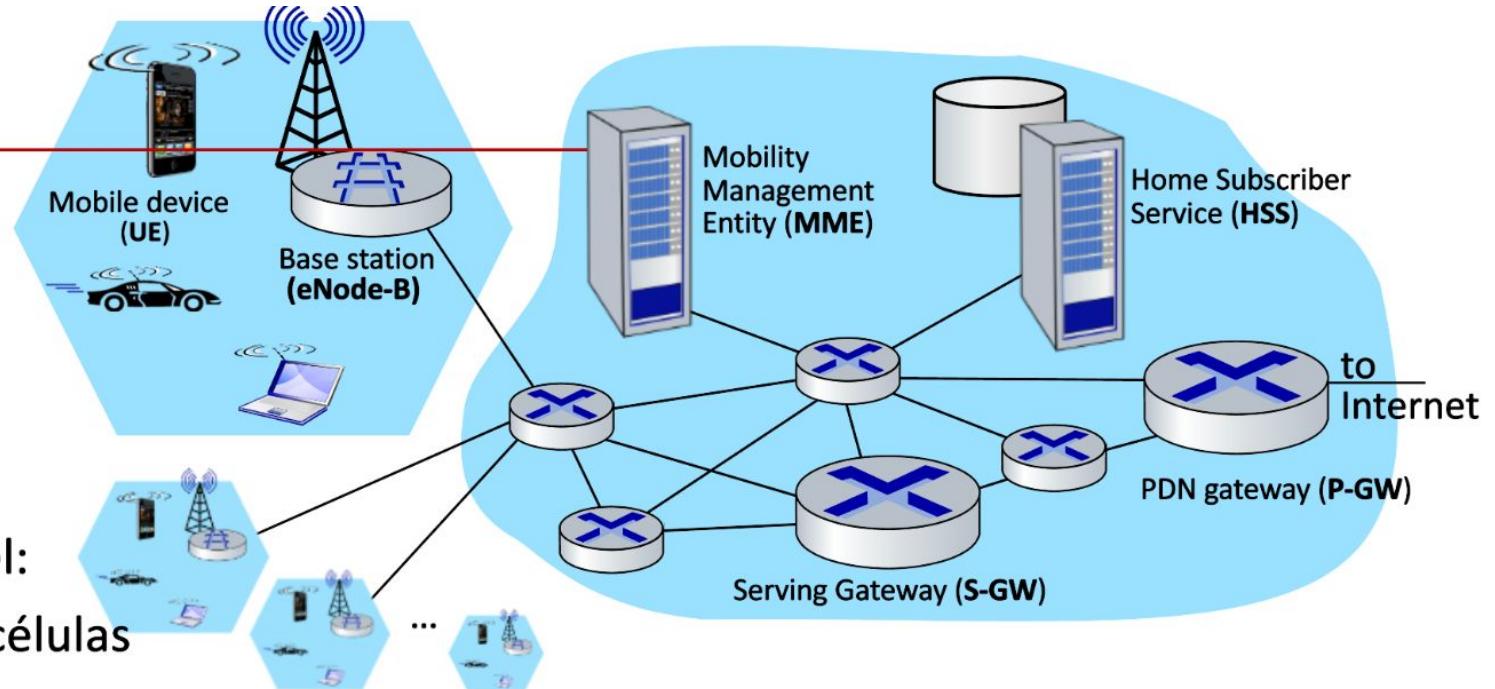


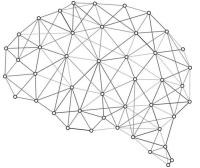
IA

# Elementos da Arquitetura 4G LTE [1]

## Entidade de Gerenciamento da Mobilidade

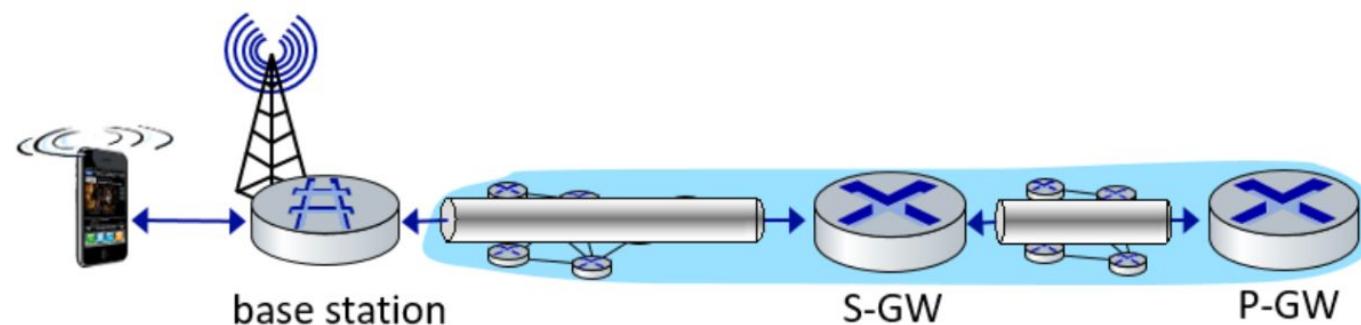
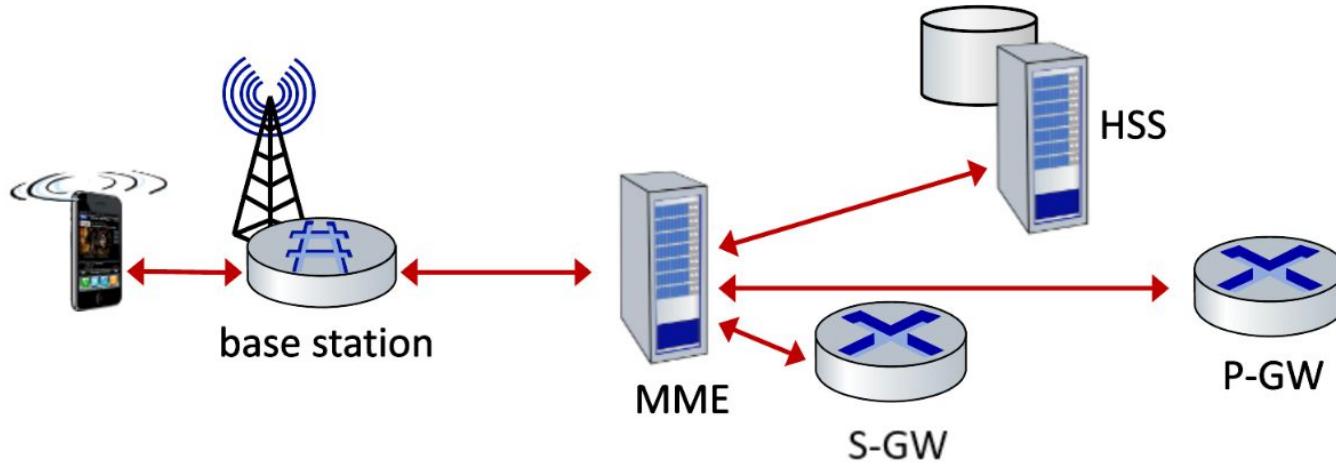
- Autenticação de dispositivo (dispositivo-para-rede, rede-para-dispositivo) coordinated com a HSS da rede móvel doméstica
- Gerenciamento de dispositivo móvel:
  - Handover do dispositivo entre células
  - Localização do dispositivo rastreamento/paging
- Configuração do caminho (tunelamento) do dispositivo móvel até o P-GW





IA

# LTE: separação do plano de controle do plano de dados [1]



## plano de controle

- Novos protocolos para o gerenciamento da mobilidade, segurança, autenticação

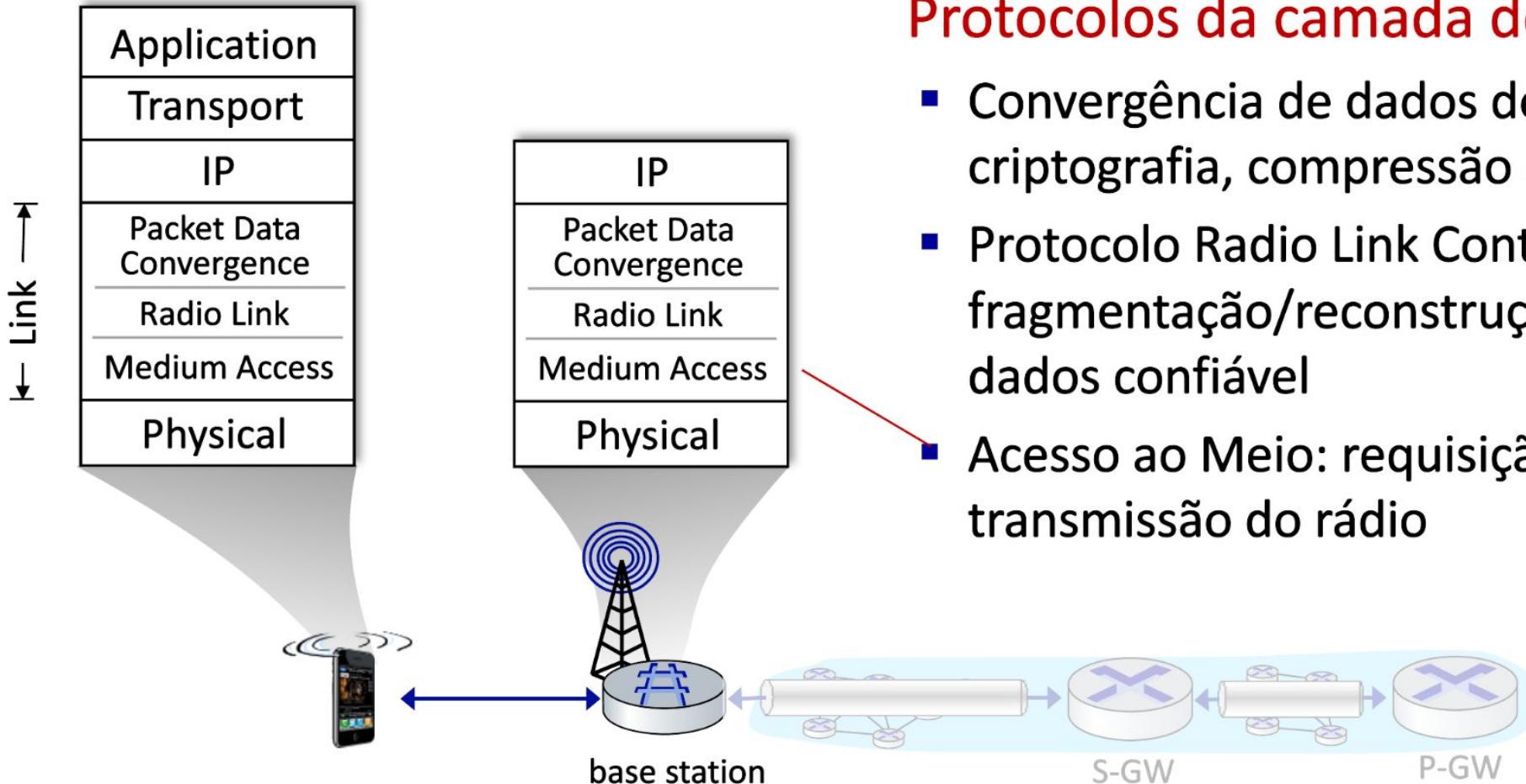
## plano de dados

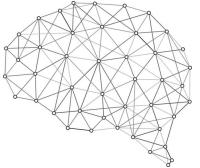
- Novos protocolos na camada de enlace e física



IA

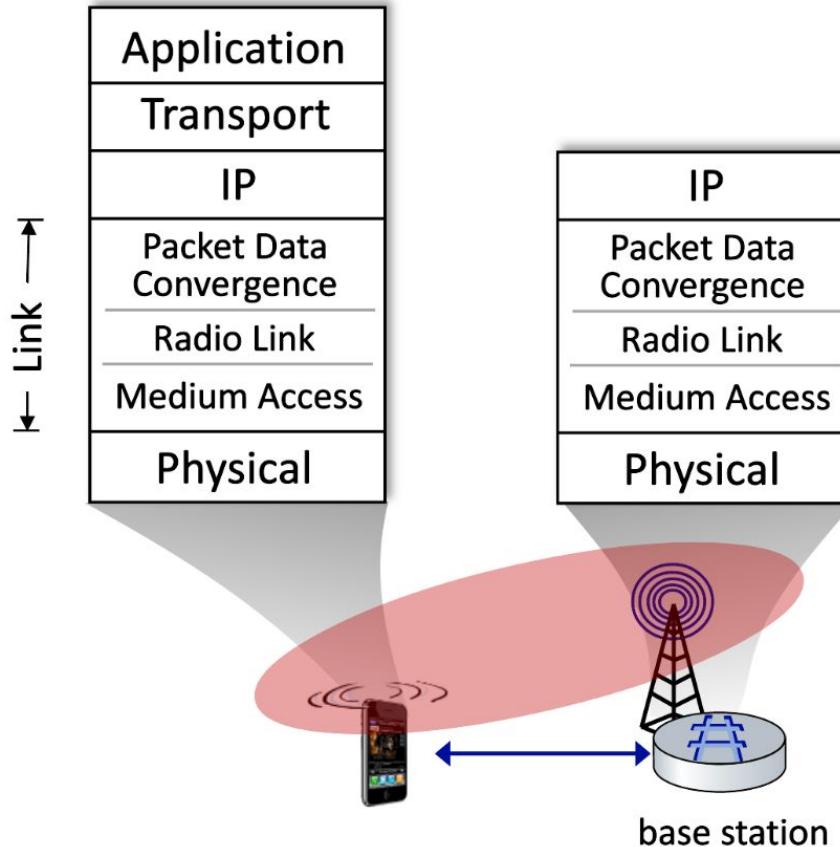
# LTE: Pilha de protocolos do plano de dados - primeiro pulo [1]





IA

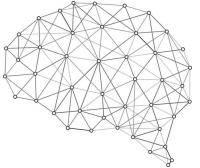
# LTE: Pilha de protocolos do plano de dados - primeiro pulo [1]



## Rede de acesso do rádio LTE:

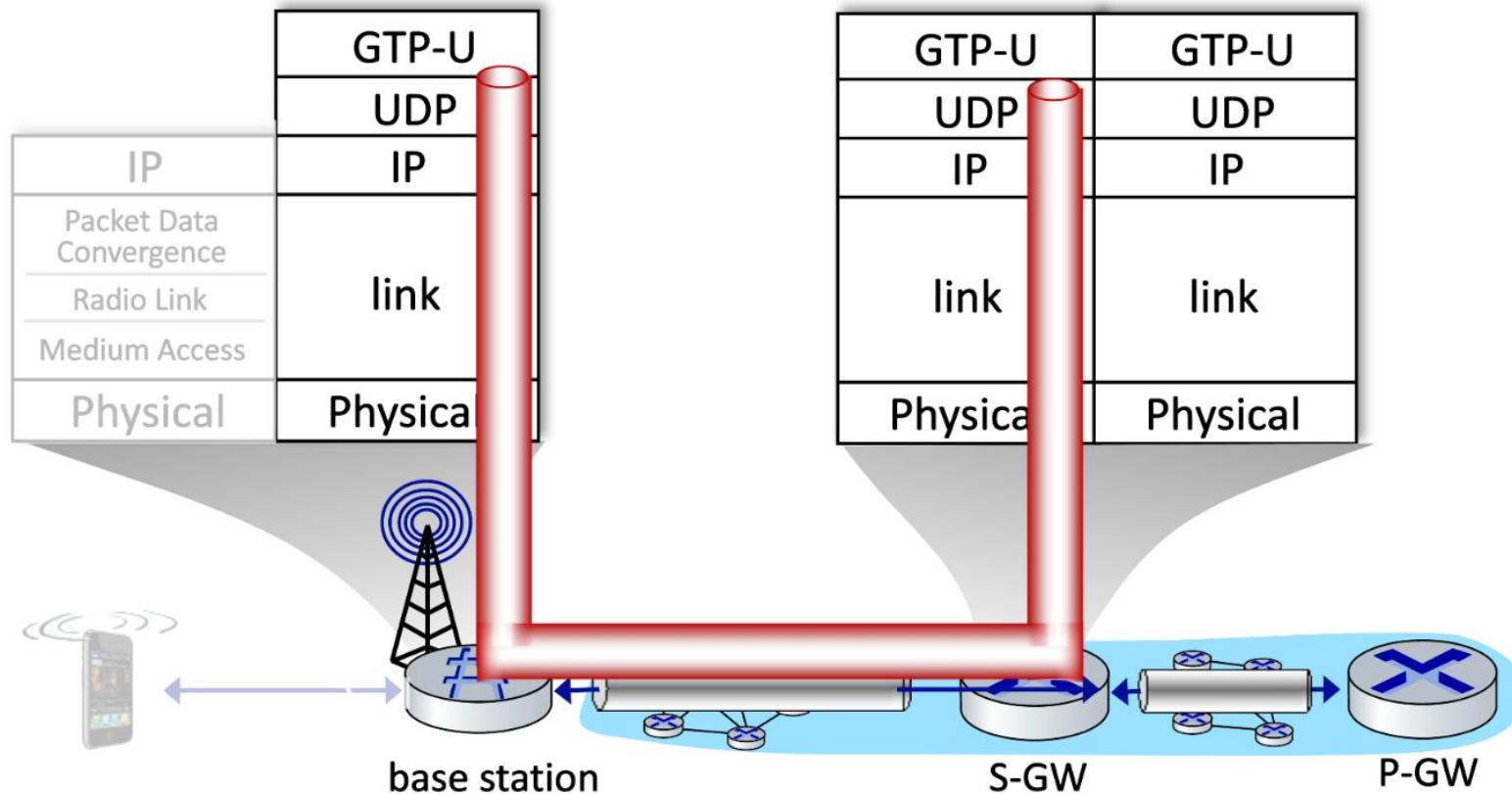
**Canal downstream:** FDM, TDM com canal de frequência (OFDM - orthogonal frequency division multiplexing)

- “ortogonal”: interferência mínima entre os canais
- **upstream:** FDM, TDM similar ao OFDM
- Cada dispositivo móvel ativo alocado a dois ou mais time-slots de 0,5 ms sobre 12 frequências
  - Algoritmo de escalonamento não padronizado – escolhido pelo operador
  - **100 Mbps por dispositivo**



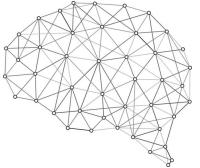
IA

# LTE: Pilha de protocolos do plano de dados - núcleo [1]



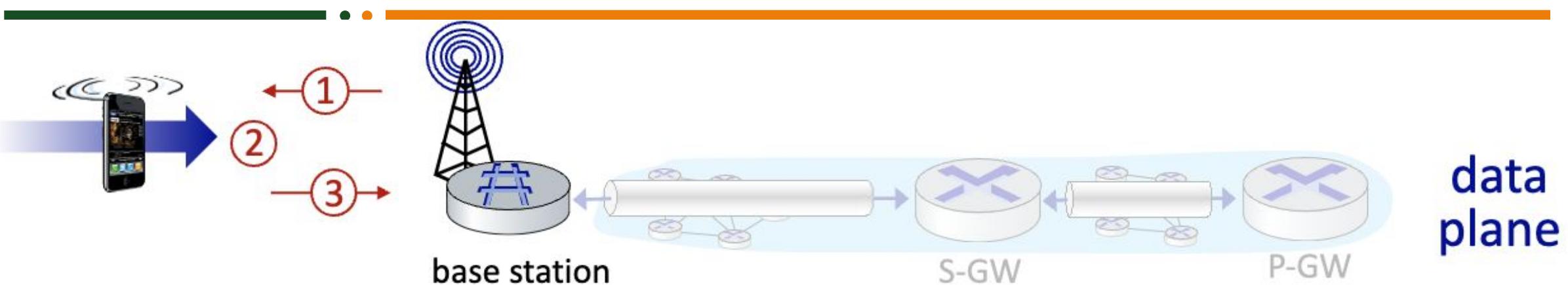
## tunelamento:

- Datagrama móvel encapsulado usando GPRS Tunneling Protocol (GTP), enviado dentro de um datagrama UDP para o S-GW
- S-GW re-tunela datagramas para P-GW
- Suporte da mobilidade: somente os endpoints mudam quando usuários móveis se movem



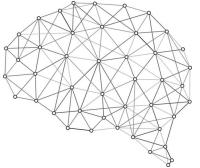
IA

# LTE: plano de dados - associação a uma BS [1]

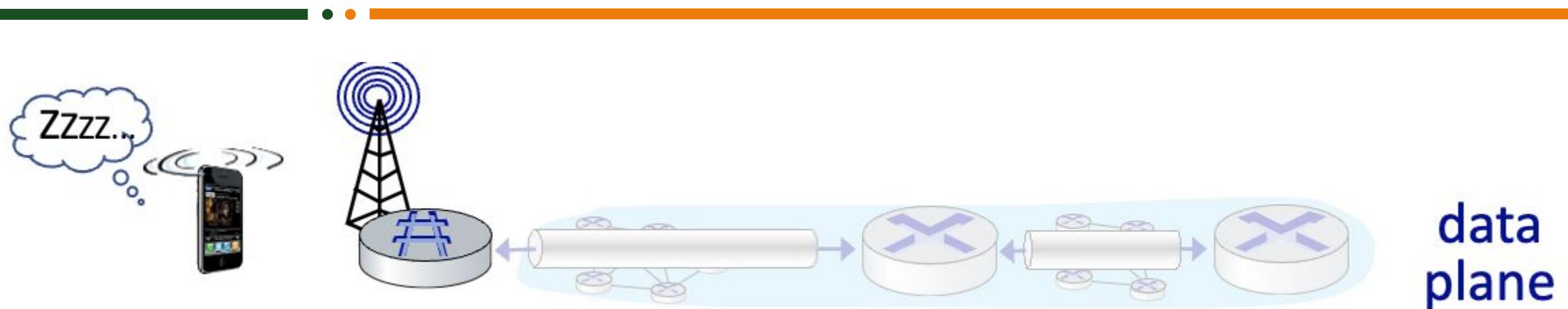


**data  
plane**

1. BS difunde um sinal de sincronização primário a cada 5 ms em todas frequências
  - a. BSS de múltiplas portadoras pode difundir sinais de sincronização
2. nós móveis encontram o sinal de sincronização primário, então aloca um segundo sinal de sincronização nesta frequência
  - a. nós móveis então encontram info difundidas pela BS: largura do canal, configurações; info da portadora celular da BS
  - b. nós móveis podem pegar a info de várias BS, várias redes celular
3. o nó móvel seleciona com qual BS vai se associar (ex. preferência por portadora doméstica)
4. mais passos são necessários para autenticar, estabelecer estado e configurar o plano de dados

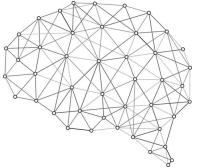
**IA**

## LTE: nós móveis - sleep mode [1]



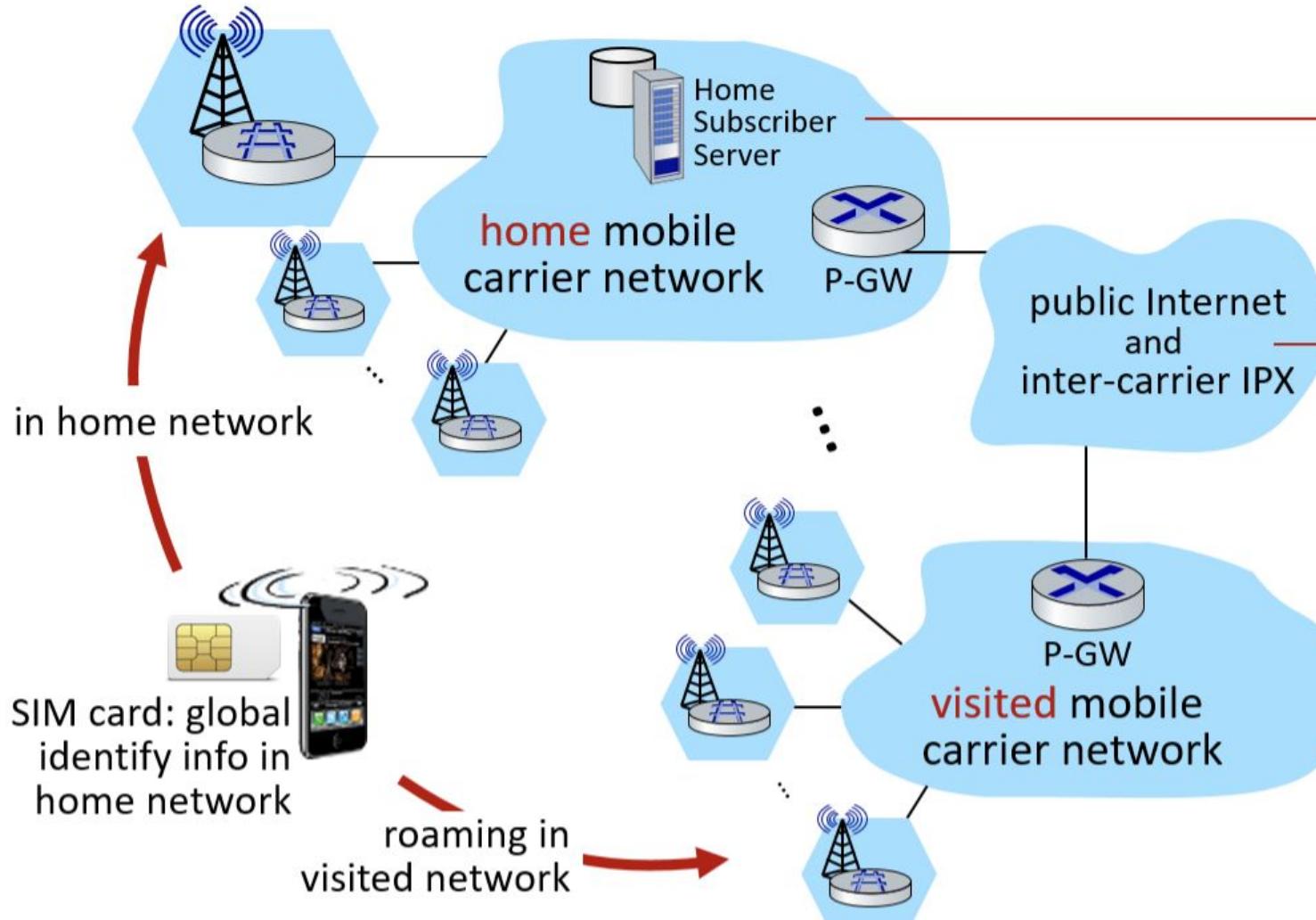
como no Wifi, Bluetooth: nós LTE colocam o rádio para "dormir" para conservar bateria:

- light sleep: dormir depois 100 ms de inatividade
  - acordar periodicamente (100 ms) para checar por transmissões de download
- deep sleep: depois de 5 a 10 s de inatividade
  - o nó pode mudar de célula enquanto está no deep sleep - necessário reestabelecer associação



IA

# Rede celular global: uma rede de redes IP [1]

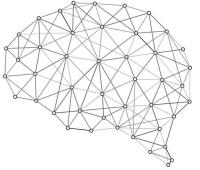


## home network HSS:

- info de serviços e identificação, enquanto está na rede doméstica e fazendo roaming

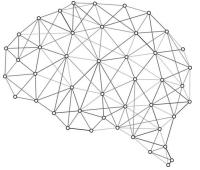
## all IP:

- portadoras se interconectam e na Internet pública em vários pontos de troca
- 2G, 3G legadas: nem toda IP, tratadas de outra maneira



# IA No 5G! [1]

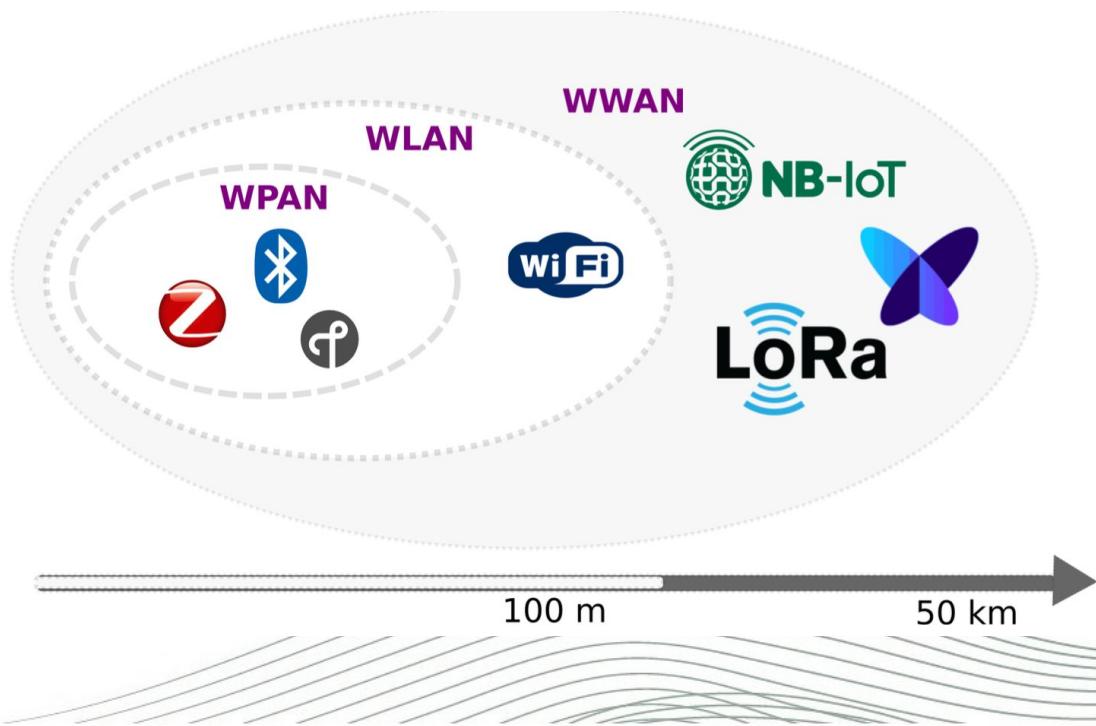
- objetivo: 10x aumentar a taxa de pico, 10x diminuir a latência, 100x aumentar a capacidade de tráfego que o 4G
- 5G NR (new radio):
  - duas bandas de frequência: FR1 (450 MHz-6GHz) e FR2 (24 GHz-52GHz): frequência de onda milimétrica
  - não é compatível com 4G
  - MIMO: antenas direcionais múltiplas
- frequências de onda milimétrica: taxas de dados mais altas, mas sobre distâncias menores
  - pico-cell: diâmetro de 10-100 m
  - é necessária a implantação densa, massiva de novas estações base

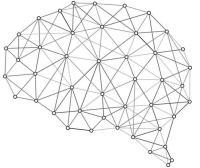


IA

## Fundamentos do LoRaWAN [3]

- dependendo da aplicação IoT, o uso de energia elétrica e a conexão cabeada com a Internet são inviáveis
- comunicação sem fio e de baixo consumo energético é uma necessidade
  - o rádio utilizada na comunicação consome quase 60% da energia do dispositivo

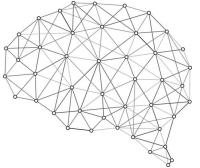


**IA**

# Comparação entre as redes sem fio [3, 4]

- LoRaWAN vem se destacando entre as demais tecnologias de redes sem fio no contexto de smart cities: smart grids, agronegócio, saúde, localização, indústria etc.
  - usa o espectro sem licença o que simplifica o custo do plano de dados
  - pode ser construída, customizada e gerenciada por qualquer um.
  - possui taxas de dados baixa mais que o 3G

Protocolo	Alcance	Frequência	Taxa	Topologia
Wi-Fi	50 m	2,4/5 Ghz	1.300 Mbps	Estrela
BLE	80 m	2,4 Ghz	1 Mbps	Estrela/Malha
ZigBee	100 m	868/915 MHz/2,4 GHz	250 kbps	Estrela/Malha
NB-IoT	35 km	700 MHz/1,8/2,1/2,5 GHz	170-250 kbps	Estrela
SigFox	3-50 km	868/902 MHz	10-100 bps	Estrela
LoRaWAN	2-40 km	915 MHz (Brasil)	0,3-50 kbps	Estrela

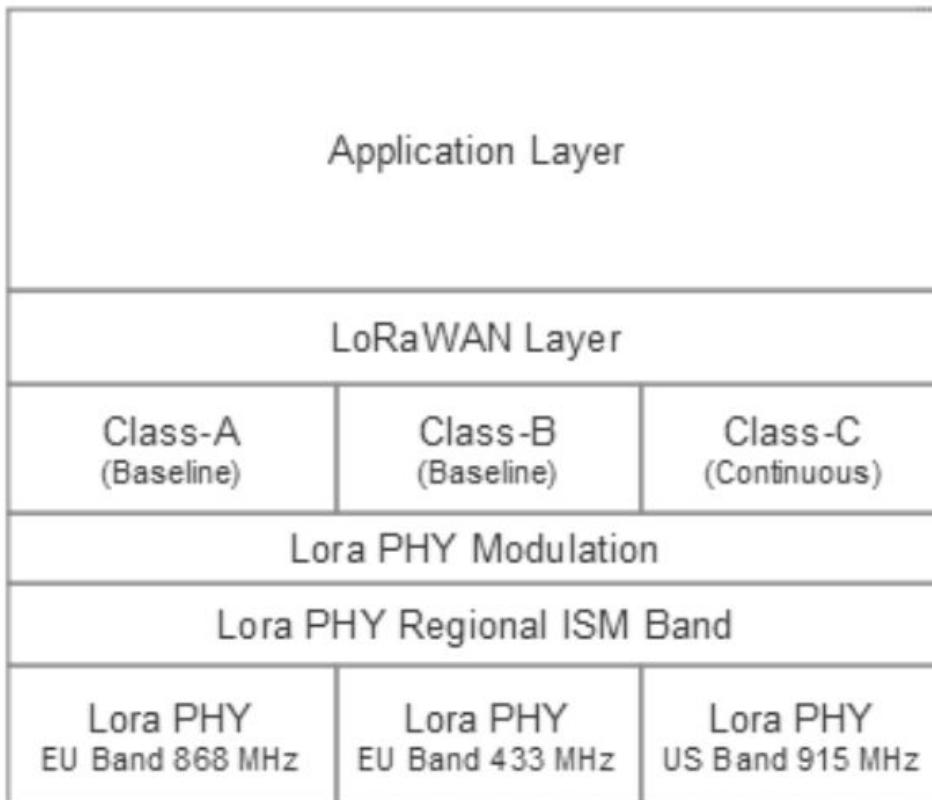


IA

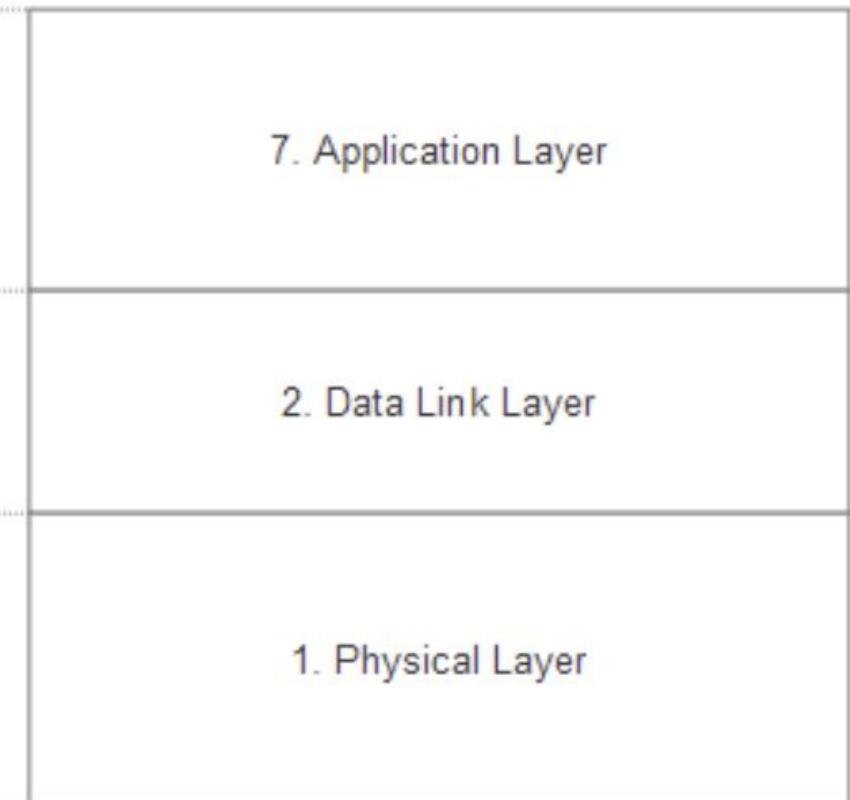
# LoRaWAN: Pilha de protocolos [4]

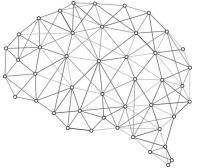


LoRa / LoRaWAN Protocol Stack



Simplified OSI Model

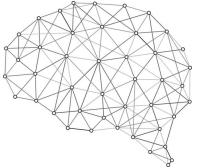




IA

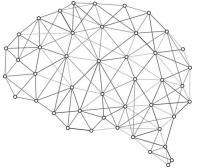
## LoRa: camada física do LoRaWAN [3]

- realiza modulação de rádio frequência baseada no espalhamento espectral de chirp (*Chirp Spread Spectrum - CSS*)
  - utilizada em comunicação militar e espacial que cobre áreas longas e é robusta à interferência
- Em 2018, a ANATEL aprova o LoRa no Brasil: **padrão australiano**
  - faixa de 915 MHz, 72 canais de uplink e 8 de downlink
- **Configurar três parâmetros no dispositivo LoRa:**
  - **Largura de banda:** 125 kHz, 250 kHz ou 500 kHz
  - **Fator de espalhamento (Spreading Factor):** determina o número de chirps necessários para representar um símbolo (um ou mais bits de dados), apresentando  $2^{SF}$  valores possíveis de 7-12, quanto maior SF, maior a energia será usada, maior será a distância entre emissor e receptor
  - **Codificação (Coding Rate):** define o número de bits destinados para dados de redundância na mensagem, a fim de recuperar erros; valores:  $\frac{4}{5}$ ,  $\frac{4}{6}$ ,  $\frac{4}{7}$  e  $\frac{4}{8}$ .

**IA**

# Exemplo para Configuração na frequência 915 MHz [3]

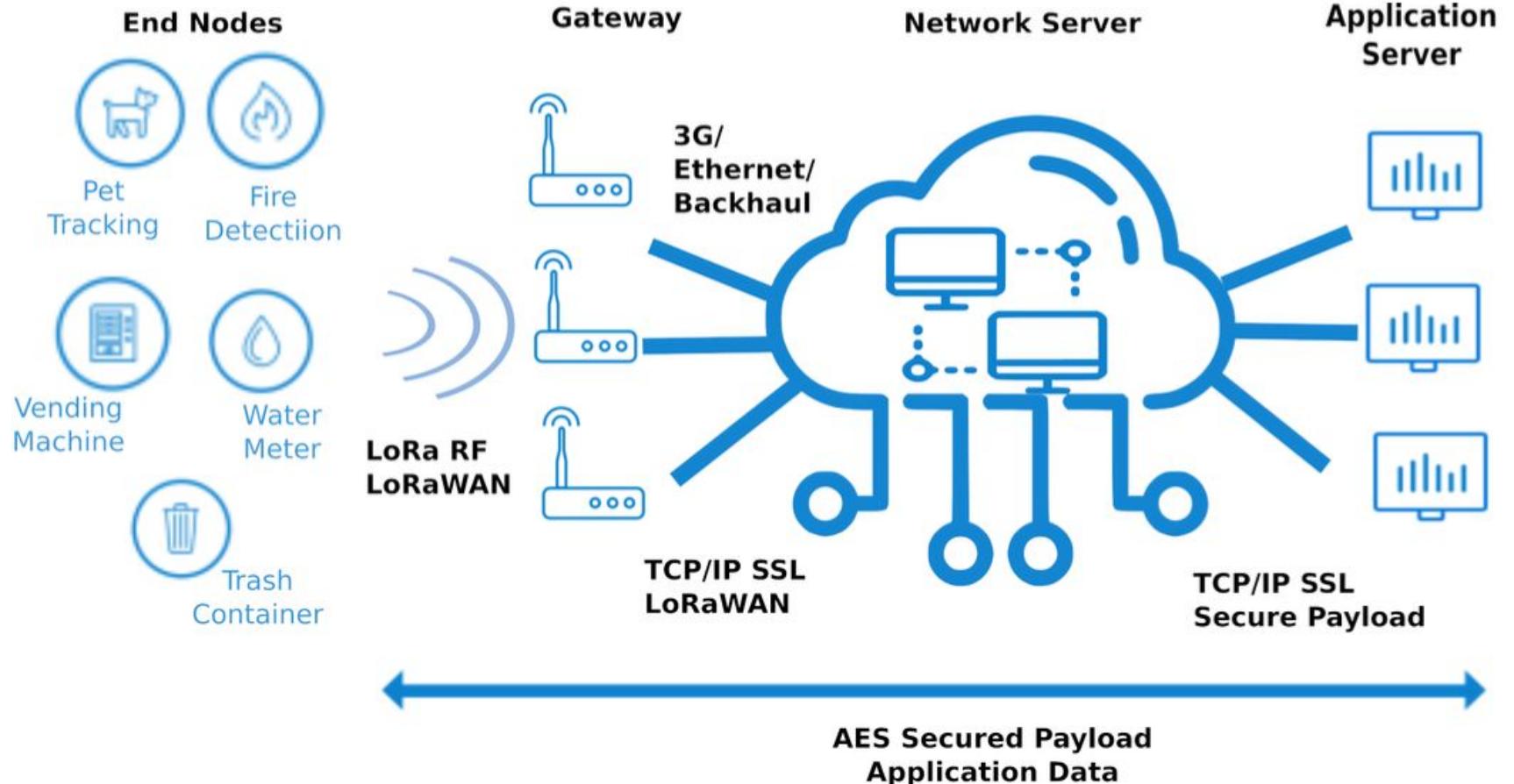
Parâmetros	Maior Alcance	Maior Mensagem
<i>Data Rate</i> (DR)	0	4
<i>Spreading Factor</i> (SF)	SF10	SF8
<i>Bandwidth</i> (BW)	125 kHz	500 kHz
<i>Coding Rate</i> (CR)	4/5	4/5
<i>Bit Rate</i> (BR)	976 bps	12.500 bps
<i>Payload</i> máximo	11 bytes	242 bytes
<i>Air Time</i>	371 ms	175 ms

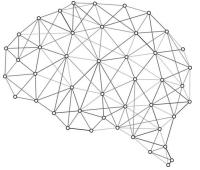


IA

# LoRaWAN: Visão geral da arquitetura [3]

- **servidor de rede (*network server*):** gerencia a comunicação dos dispositivos com o servidor de aplicação pela Internet
- **servidor de aplicação (*application server*):** exibe as informações dos dispositivos ao usuário final



**IA**

# LoRaWAN: dispositivos finais [3]

End nodes podem assumir três configurações:

## 1. Classe A

- configuração obrigatória para o dispositivo iniciar a comunicação com o gateway a qualquer momento: realizando uma transmissão e duas janelas de recepção de dados

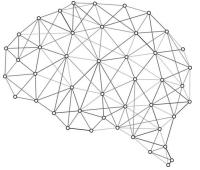
## 2. Classe B

- comunicação iniciada pelo gateway, que determina o momento de transmissão do dispositivo e na sequência abre duas janelas de recepção

## 3. Classe C

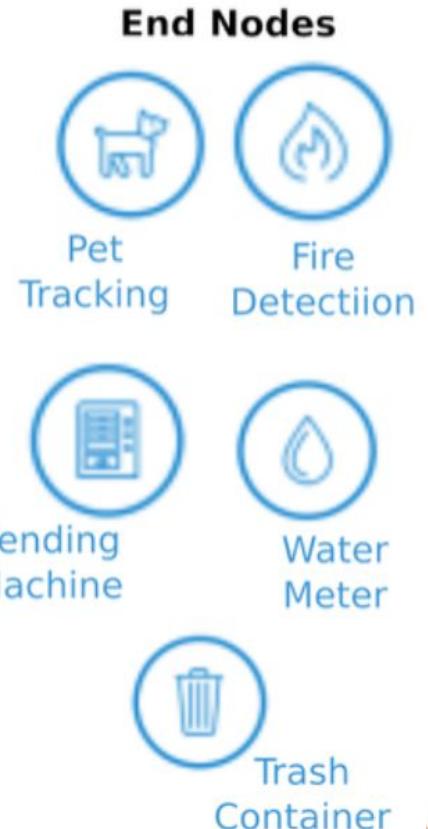
- o dispositivo final realiza uma transmissão de dados, abre duas janelas de recepção e mantém uma aberta até a próxima transmissão, fazendo com o dispositivo final necessite de uma fonte de energia constante.

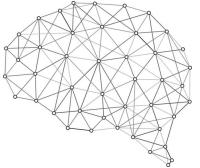


**IA**

# LoRaWAN: Segurança dos dispositivos finais [3]

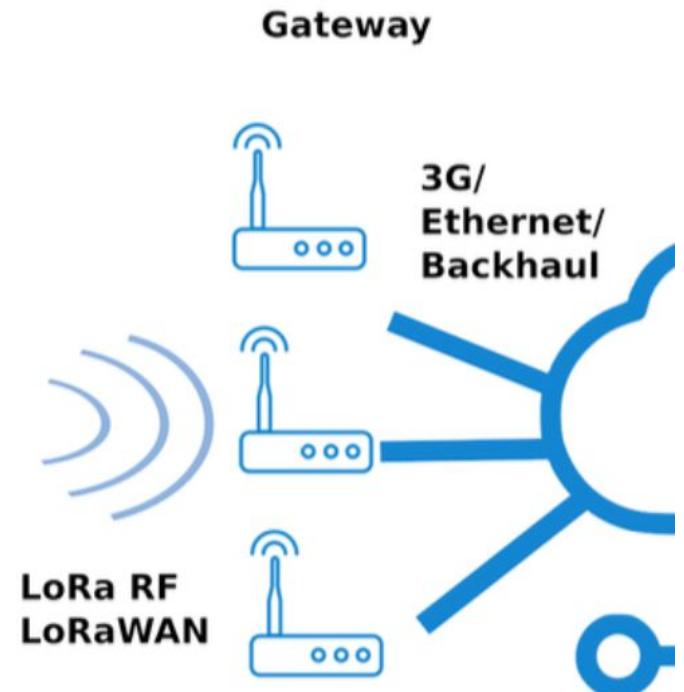
- Criptografia AES de dois níveis
  - camada de rede
  - camada de aplicação: entre o dispositivo e servidor de aplicação
- Autenticação: dois tipos
  - Over The Air Activation - OTAA: mais segura, o dispositivo gerencia sua ativação com um procedimento de conexão para ser ativado na rede selecionada
  - Activation By Personalization - ABP: mais simplificado, o dispositivo final está vinculado a uma rede específica, ignorando o procedimento do OTAA.

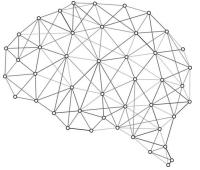


**IA**

## LoRaWAN: Gateway [3]

- concentrador ou ponto de acesso
- estabelece conexão com vários dispositivos finais usando a LoRaWAN
- organiza, repassa as informações dos dispositivos via TCP/IP (rede Ethernet, Wifi, 3G/4G) para o servidor de rede LoRaWAN
- comunicação LoRaWAN bidirecional
  - uplink: predominante
  - downlink: utilizado quando necessário de acordo com a configuração especificada

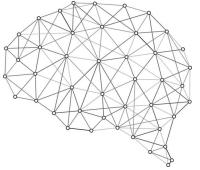




IA

## LoRaWAN: Servidor de rede [3]

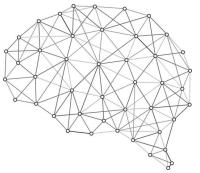
- responsável pelo **gerenciamento da rede LoRaWAN**: recebe as informações do gateway, elimina pacotes duplicados e então encaminha-os para o servidor de aplicação
- **descriptografa pacotes do uplink** validando-os ou descartando-os em caso de inconsistência
- **envia aos dispositivos finais configurações** de taxa de dados e potência de transmissão
- **Soluções:**
  - **ChirpStak**: componentes código aberto, solução pronta para uso e, servidor local ou nuvem
  - **The Things Network (TTN) ou The Things Stack (TTS)**: ferramentas e infraestrutura abertas pronta para uso: cadastro de gateways, dispositivos e integração com servidores



IA

## LoRaWAN: Servidor de Aplicação [3]

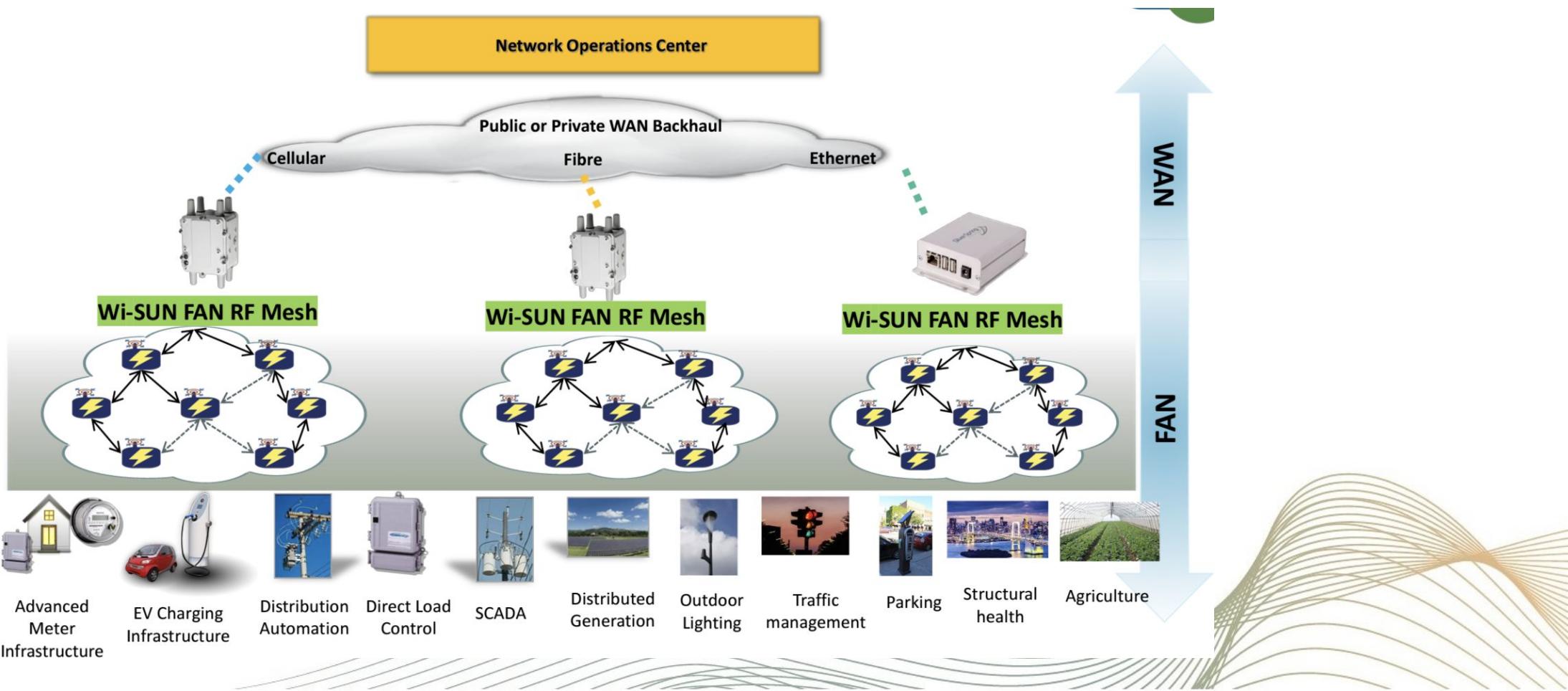
- recebe pacotes vindos do servidor de rede e apresenta os dados monitorados dos dispositivos finais
- payloads são armazenados, descriptografados e os dados brutos são transformados em informação útil para o usuário visualizar através de software específicos
- servidores de rede e de aplicação podem ser instalados na mesma máquina ou em equipamentos diferentes geograficamente distantes
- Soluções:
  - TagIO é uma plataforma web da nuvem para gerência, armazenamento, análise e visualização de dados
  - AllThingsTalk possui SDK para Arduino e linguagens Java, Python e Go
  - Cayenne possui integração com Arduino e Raspberry Pi.

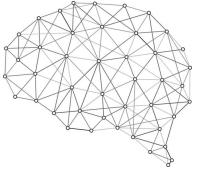


IA

# Wi-SUN: Casos de uso [5]

- um padrão aberto de comunicação para field area networks (FAN)

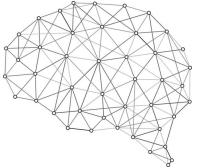




IA

## Wi-SUN: Características [6]

- baseada em vários padrões do IEEE, IETF, ANSI/TI para redes LPWAN
- cobertura: medida em km
- alta largura de banda: mais de 300 kbps
- baixa latência: 0,02 s
- roteamento mesh: resiliente e escalável
- escalabilidade: rede de mais de 5000 dispositivos
- segurança: certificado de chave pública, AES, HMAC, atualização de chaves dinâmica, criptografia fortificada (hardened)

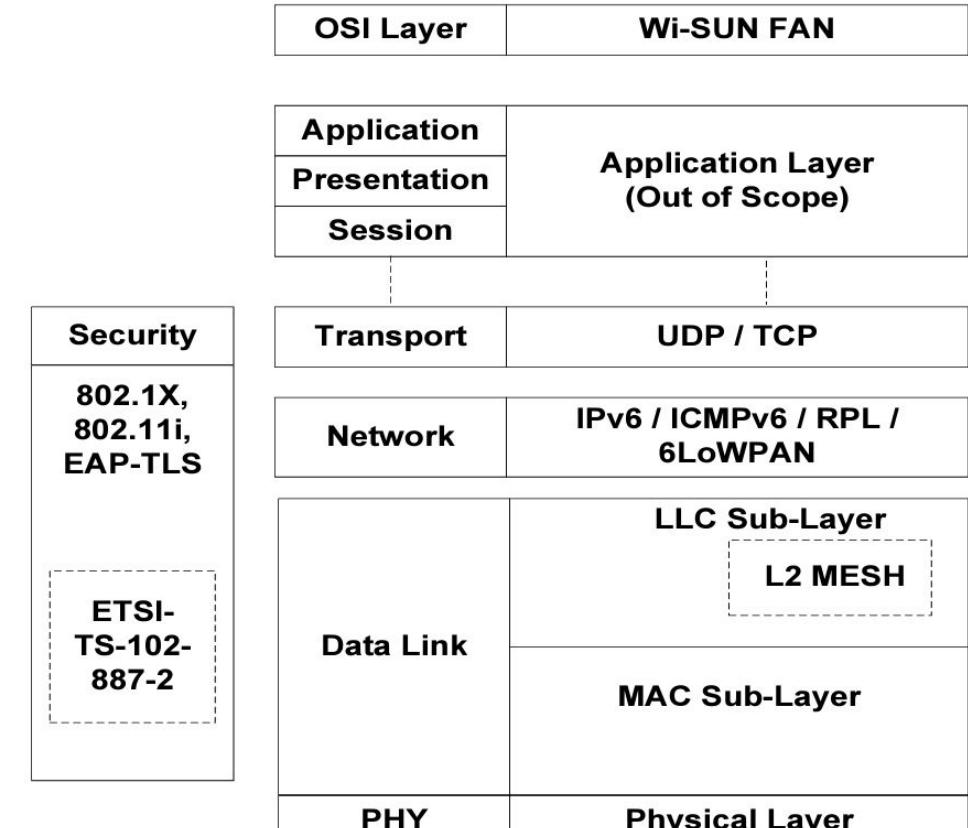


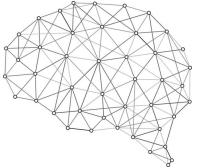
IA

# Wi-SUN: Pilha de Protocolos [7, 8]

- **Frequency Hopping:** utiliza todos os canais para transmissão do frame
  - comunicação unicast, broadcast
- Usa faixa de frequência **ISM Sub Giga Hertz** que varia conforme a região.
  - no Brasil:
    - modo de operação 1a ou 2b: 50kbps
    - modo de operação 3: 150 kbps

Faixa de Frequência	Modo de Operação	Tamanho do Canal (kHz)	Número de canais	Freq. central Chan0 (MHz)
902-907,5 e 915-928	1a ou 2b	200	90	902,2
902-907,5 e 915-928	3	400	43	902,4





IA

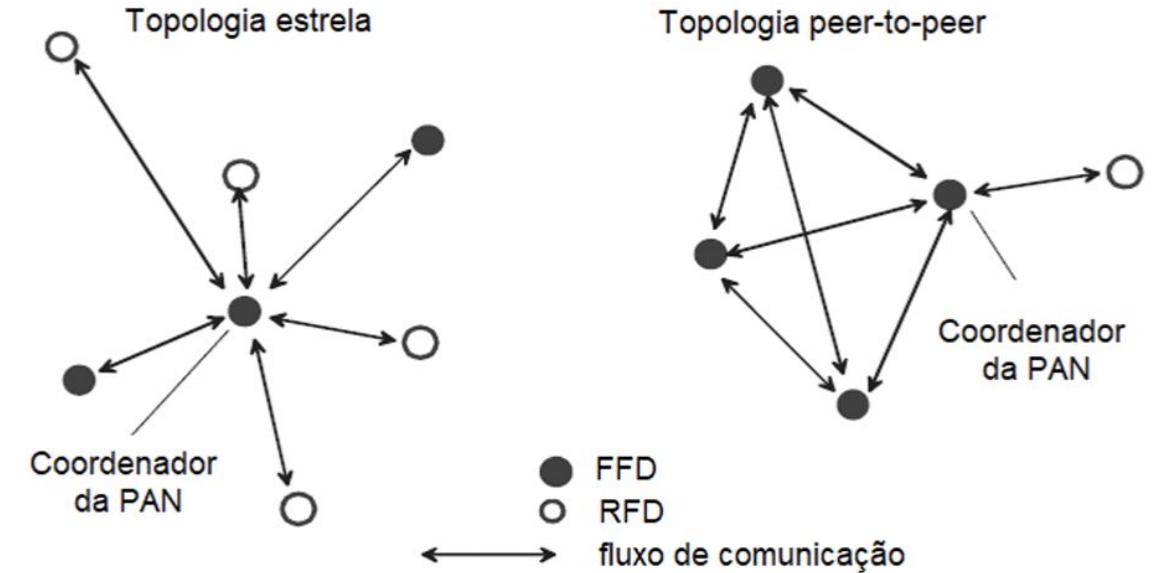
# Wi-SUN: Topologias IEEE 802.15.4-2015 [8]

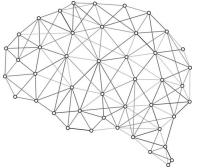
## Funções de dispositivos

- **FFD (Full Function Device):** funções de coordenador
- **RFD (Reduced Function Device):** participa da rede sem função de coordenador

## Topologias

- **Estrela (Star)**
  - todos dispositivos se conectam ao coordenador (FFD) e somente esse tem acesso a todos dispositivos (RFD)
- **Ponto-a-Ponto**
  - todos dispositivos podem agir como um coordenador

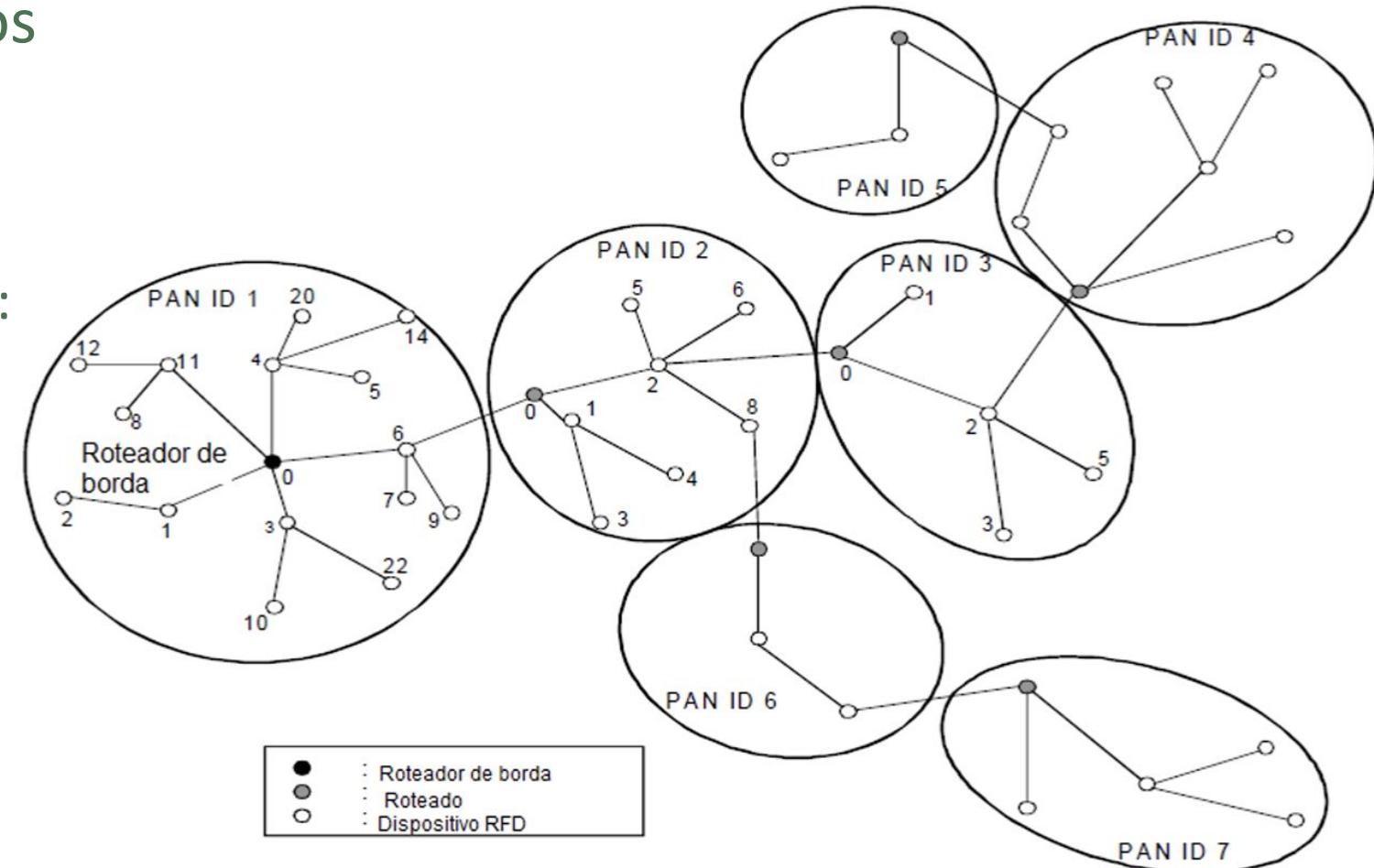


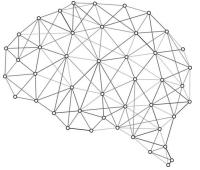


IA

## Wi-SUN: Topologia Mesh [8]

- Na topologia Ponto-a-Ponto, os FFD podem forma grupos com outros dispositivos:  
**topologia Mesh**
  - apenas um dispositivo será coordenador de toda a PAN: **roteador de borda**

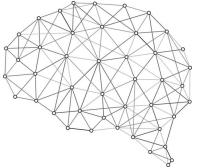




IA

# Wi-SUN: Endereçamento [6]

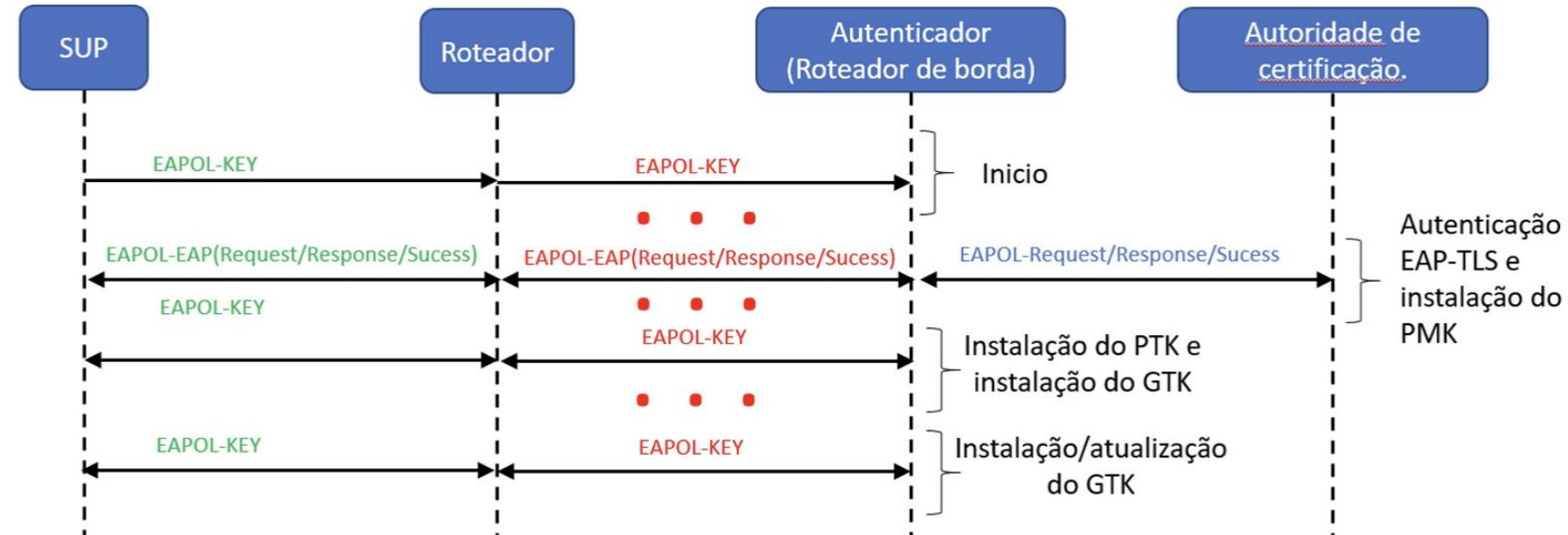
- Camada de rede: IPv6
- Unicast
  - link-local: começa com FE80::, gerado automaticamente (EUI-64)
  - global unique local (GUA): via DHCPv6
- Multicast
  - all-nodes: FF02::1
  - all-routers: FF02::2
  - all-routers-RPL: FF02::1a



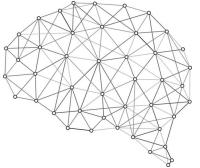
IA

# Wi-SUN: Segurança - Autenticação [8]

- EAP-TLS utiliza mensagens EAPOL para autorizar dispositivos na rede caso tenham um certificado emitido por fonte confiável (IEEE 802.1x)
- Autenticação de 4 vias: a mensagem EAPOL pode passar por 4 tipos de equipamentos
  - **SUP:** nó sem participação na rede
  - **roteador:** nó autenticado na rede
  - **autenticador:** roteador de borda
  - **autoridade certificadora:** servidor RADIUS



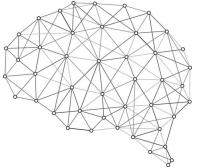
- 4 grupos de chaves GTK serão usadas para criptografia na camada de enlace (acesso à rede)



IA

## Wi-SUN: Criptografia [6, 8]

- Camada de enlace
  - entre nós vizinhos: AES-CCM\*, usa uma das chaves GTKs
  - a cada transmissão um contador é incrementado e usado como parte da chave criptográfica, fazendo que cada transmissão seja única e apenas os participantes da rede consigam manipular os dados
- Aplicação
  - DTLS para UDP, TLS para TCP
  - usam certificados digitais e criptografia assimétrica



IA

# Wi-SUN: Soluções - Wi-SUN Alliance [9]

## SOLUTION : WI-SUN ALLIANCE



**HARDWARE**

Field Proven SoC xG12  
Low-Power Silicon  
Sub-GHz FSK PHYs

**WI-SUN STACK & OS**

IPv6/6LoWPAN  
Runs w/ FreeRTOS and Micrium  
Full featured Stack

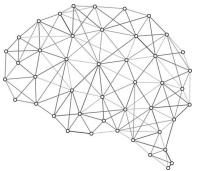
**TOOLS**

Reference Applications  
(Including Border Router Demo)  
Command Line Interface support

SILICON LABS

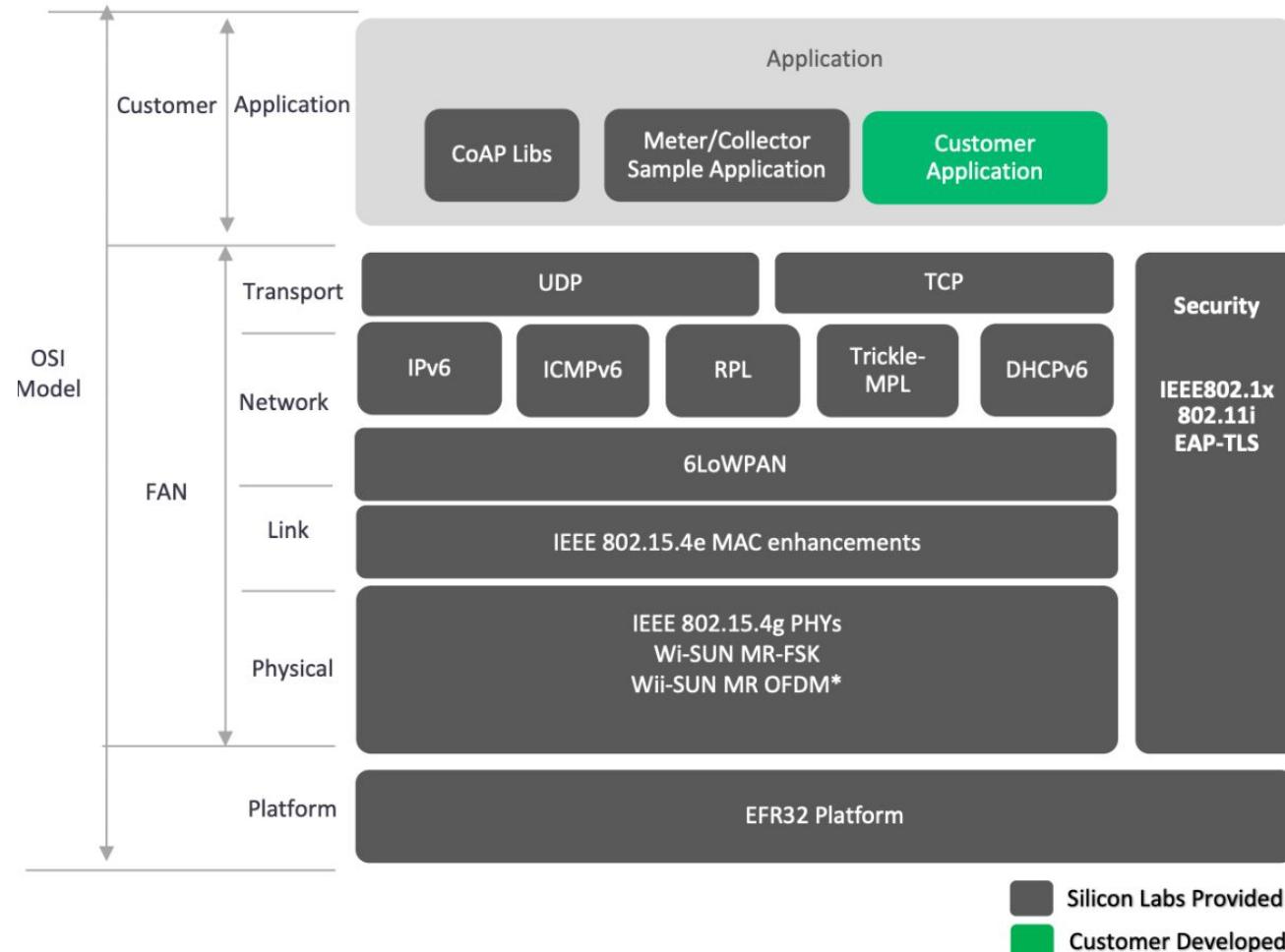
14  
**Simplicity**  
Studio 5

Flex Gecko  
EFR32FG  
2.4 GHz 19.5 dBm



IA

# Wi-SUN: Soluções - Silicon Labs [9]

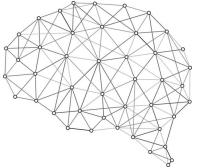


## ▪ Wi-SUN Sample Apps

- SoC CLI
- SoC CoAP Collector
- SoC CoAP Meter
- SoC Collector
- SoC Empty
- SoC Meter
- SoC Ping
- SoC TCP Client
- SoC TCP Server
- SoC UDP Client
- SoC UDP Server

## ▪ PHY (802.15.4g)

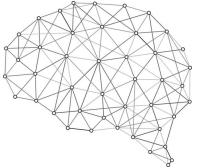
- FSK (xG12) modulations, data rates, and regions
- \*OFDM Support Coming Soon

**IA**

## Atv 06 - Comunicação na Smart City

Nesta atividade, você deve pesquisar por 5 projetos de smart city implementados em cidades do mundo que usem as tecnologias de comunicação longa distância.

- 1.** Registre sua pesquisa em um documento de texto através de uma descrição do projeto enfatizando a cidade, o tipo de aplicação (ex. energia, tráfego, saúde, iluminação pública, etc.) e a tecnologia estudada (4G/5G, LoRaWAN, Wi-SUN).
- 2.** Não esqueça de colocar os links de sites de referência.
- 3.** No final, você deve enviar o relatório da sua pesquisa na Atv 06 do Classroom

**IA**

# Referências Bibliográficas

- [1] J. Kurose, K. Ross. Redes de Computadores e a Internet - Uma abordagem top-down. 8<sup>a</sup> ed. Pearson. 2020.
- [2] Danilo Oliveira. Qual é a operadora mais rápida do Brasil? 2022. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2022/07/qual-e-a-operadora-mais-rapida-do-brasil-confira-no-novo-ranking.ghtml>>. Acesso em: 09/03/2023.
- [3] A. F. Pastório, J. Rossato, J. P. C. A. Sá, F. A. Spanhol, L. A. Rodrigues, E. T. Camargo. Fundamentos do LoRaWAN: Teoria e Prática. XIX Escola Regional de Redes de Computadores-ERRC. 2021. DOI: <<https://doi.org/10.5753/sbc.8898.6.2>>.
- [4] Lea, P. IoT and Edge Computing for Architects - Implementing edge and IoT systems from sensors to clouds with communication systems, analytics, and security. 2<sup>a</sup> ed. 2020.
- [5] Wi-SUN Alliance Overview. 2022. Disponível em: <<https://wi-sun.org/assets/events/2022/02-openhouse/Wi-SUN-Overview-Japan-OpenHouse-February-2022-r5p.pdf>>. Acesso em: 11/03/2023.
- [6] HELIE, B.; LIU, B; ZHANG,, M.; PERKINS, C. Wi-SUN FAN Overview. 2018. Disponível em: <<https://www.ietf.org/archive/id/draft-heile-ipwan-wisun-overview-00.txt>>. Acesso em: 18/01/2023.
- [7] B. Heile. Wi-SUN FAN Overview. 2016. Disponível em: <<https://www.ietf.org/proceedings/97/slides/slides-97-ipwan-35-wi-sun-presentation-00.pdf>>. Acesso em: 11/09/2022.
- [8] L. Afonso. Implementação e avaliação de uma rede Wi-SUN FAN para aplicações de redes inteligentes de energia. 2020. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/202371/afonso\\_lc\\_me\\_sjbv.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/202371/afonso_lc_me_sjbv.pdf?sequence=5&isAllowed=y)>. Acesso em: 11/03/2023.
- [9] Wendy Warne. Tech Talk: Understand the Benefits of Wi-SUN for Long Range Industrial Applications. 2021. Disponível: <<https://www.silabs.com/documents/login/presentations/tech-talks-understand-the-benefits-of-wi-sun-for-long-range-industrial-applications.pdf>>. Acesso em: 11/03/2023.

# Dúvidas?

Módulo de Internet das Coisas



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO CEARÁ

 Instituto Iracema  
PESQUISA E INOVAÇÃO

 MCTI  
FUTURO

 Softex

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO